



Vesileikkauslaitteiston käyttäjäkunnossapito-ohjeet

Tero Kangas

Tekniikan koulutusalan opinnäytetyö
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2013

ALKUSANAT

Haluan kiittää työn toimeksiantajaa Lapin Vesileikkaus Oy:ä mielenkiintoisesta aiheesta. Kiitokset toimitusjohtaja Markus Ahokkaalle ja leikkaaja Mikko Salmelle asiantuntevista neuvoista ja työn opastuksesta. Kiitos kuuluu myös Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun TkL Lauri Kantolalle lopputyön ohjaamisesta.

Lisäksi haluan kiittää perhettäni tuesta koko opiskeluni aikana.

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Tero Kangas
Opinnäytetyön nimi:	Vesileikkauslaitteiston käyttäjäkunnossapito-ohjeet
Sivuja (joista liitesivuja):	41 (9)
Päiväys:	14.5.2013
Opinnäytetyön ohjaaja:	TkL Lauri Kantola
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia selkeät käyttäjäkunnossapito-ohjeet Lapin Vesileikkaus Oy:n vesileikkausjärjestelmälle. Lisäksi työssä tehtiin vika-analyysitaulukko, jonka tarkoitus on helpottaa vikojen paikantamista ja auttaa kohdistamaan korjaava kunnossapito oikeaan paikkaan.</p> <p>Työn teoriaosiossa käsiteltiin kunnossapitoa ja vesileikkausta yleisellä tasolla, sekä yrityksen oma vesileikkausprosessi. Teorian tarkoitus on auttaa ymmärtämään kunnossapito-ohjeiden dokumentoinnin merkitys ja antaa suhteellisen kattava kokonaiskuva vesileikkausprosessista.</p> <p>Työn tekeminen aloitettiin tutustumalla yrityksen toimintaan ja vesileikkausprosessiin. Ohjeiden laatiminen pohjautuu kunnossapitotoimien seuraamiseen ja koneenkäyttäjien haastatteluihin. Vika-analyysi on tehty yleisille prosessissa esiintyville ongelmille. Analyysi perustuu vikojen havainnointiin leikkauksen aikana ja koneenkäyttäjien kokemuksiin kyseisissä ongelmatilanteissa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kirjalliset ja kuvalliset ohjeet viidelle kunnossapitotoimelle sekä vika-analyysi, jossa on tarkasteltu prosessissa esiintyviä ongelmia.</p>	
Asiasanat: kunnossapito, vesileikkaus, vika-analyysi.	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Mechanical and Production Technology
Author:	Tero Kangas
Thesis title:	Operator Maintenance Instructions for Water Jet Cutting System
Pages (of which appendixes):	41 (9)
Date:	14 May 2013
Thesis instructor:	Lauri Kantola, MSc, Lic.Sc (tech.)
<p>The aim of this final project was to create explicit operator maintenance instructions for the water jet cutting system in Lapin Vesileikkaus Oy. In this final project the failure analysis table was also made the purpose of which is to ease locating failures and assist to direct the corrective maintenance to exact location.</p> <p>The theory section dealt with maintenance and water jet cutting in general as well the company's own cutting process. The purpose of the theory section is to help to understand the purpose of creating maintenance instruction documents and to give a relatively encompassing general view of the water jet cutting process.</p> <p>The project was started by getting to know how the company operates and learning their own water jet cutting process. Creating the instructions was based on following the maintenance actions and interviewing the machine operators. The failure analysis was made of common problems that appear in the process. The analysis is based on observing failures during cutting and the experience of the operators in these problem situations.</p> <p>The result of the final project was written and graphical instructions for five maintenance actions and failure analysis in which the problems appear in the process was examined.</p>	
Keywords: maintenance, water jet cutting, failure analysis.	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO.....	7
2 LAVE OY.....	8
3 KUNNOSSAPITO	9
3.1 Kunnossapito yleisesti	9
3.2 Kunnossapitolajit	10
3.2.1 Korjaava kunnossapito	11
3.2.2 Huolto.....	12
3.2.3 Ehkäisevä kunnossapito	12
3.2.4 Parantava kunnossapito	13
3.3 Vikaantumisen selvittäminen	14
3.4 TPM.....	15
3.5 Käyttäjäkunnossapito (ODR)	16
4 VESILEIKKAUS	18
4.1 Abrasiivinen vesileikkaus.....	19
4.2 Vesileikkauksen ominaisuuden ja toleranssit	19
4.3 Vesileikkauslaitteisto.....	21
4.3.1 Paineyksikkö	21
4.3.2 Leikkausyksikkö.....	25
4.3.3 Hiekkasiilo ja abrasiiviannostelija.....	27
4.3.4 CNC-ohjausjärjestelmä	28
5 KÄYTTÄJÄKUNNOSSAPITO-OHJEET.....	30
5.1 Korkeapainesylinteriputken tiivisteen vaihto	30
5.2 Leikkauspään neulatiivisten vaihto.....	32
5.3 Safiirin vaihtaminen	33
5.4 Suuttimen hiekkatukoksen korjaus	34
5.5 Purkuventtiilin neulatiivisten vaihto	35

6 VIKA-ANALYYSI	36
6.1 Paineenkohottajan ylikuormitus	36
6.2 Korkeapainepumpun etäohjausongelma.....	37
6.3 Leikkauksen keskeytyminen.....	37
6.4 Ohjausohjelman ongelmat	37
6.5 Hiekansyötön ongelmat	38
7 POHDINTA.....	39
LÄHTEET	41
LIITTEET	42

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia selkeät käyttäjäkunnossapito-ohjeet vesileikkausprosessiin. Ohjeiden avulla koneenkäyttäjä voi suorittaa kunnossapitotoimet hallitusti ja turvallisesti. Ohjeet on laadittu yksityiskohtaisemmin tekstimuodossa, mutta myös kuvalliset ohjeet on tehty havainnollistamaan toimenpiteitä. Tämän lisäksi työssä on tehty Excel-pohjainen vika-analyysitaulukko, jonka tarkoituksena on helpottaa vikojen paikantamista ja selvittää vikaantumiseen johtaneita syitä ja niiden seurauksia. Taulukon avulla korjaava kunnossapito pystytään kohdistamaan oikeaan paikkaan.

Käytettynä hankittu vesileikkuri on ollut yrityksen käytössä vuodesta 2011 ilman dokumentoituja kunnossapito-ohjeita. Tavallisesti laitevalmistaja toimittaa käyttöohjeen mukana myös kunnossapito-ohjeistuksen, mutta tässä tapauksessa dokumentoitu tieto puuttuu lähes kokonaan. Tarkat kunnossapito- ja työohjeet ovat kunnossapitotöiden lähtökohta ja ne on ensisijaisen tärkeää laatia varsinkin silloin, kun koneenkäyttäjien vastuu kunnossapidosta on korostunut.

Kunnossapito-ohjeet ja vika-analyysi on laadittu pääosin seuraamalla käyttäjien suorittamia kunnossapitotoimia sekä vesileikkausprosessia ja siinä ilmeneviä vikoja. Työssä on hyödynnetty paljon käyttäjien kokemuksia ja tietotaitoa, jotta ohjeista saadaan toimivat juuri kyseistä prosessia varten.

Kunnossapito-ohjeet on laadittu viidelle yleiselle toimenpiteelle, jotka vesileikkaaja tulee kohtaamaan työskentelynsä aikana ja jotka hänen täytyy osata tehdä. Vika-analyysi on tehty yleisimmille ongelmille, joita vesileikkausprosessissa ilmenee.

2 LAVE OY

Lapin Vesileikkaus eli LaVe Oy on vuonna 2011 perustettu Kemissä toimiva yritys, joka tarjoaa materiaalivapaata levynleikkauspalvelua yrityksille ja yksityishenkilöille ympäri Suomen. Vesileikkauksen ohella palveluihin kuuluu asennus- ja kunnostuspalvelut, suunnittelu- ja piirustuspalvelut, hitsauspalvelut, tiivistys- ja pintakäsittelypalvelut, niittauspalvelut ja CNC-jyrsintäpalvelut. Yrityksellä on myös sarjatuotantovalmiudet KUKA-nivelvarsirobotin myötä. (Lapin vesileikkaus, hakupäivä 20.2.2013)

Tuotevalikoima on laaja monipuolisen konekannan ja vesileikkauslaitteiston ansiosta. Vesileikkaus mahdollistaa esimerkiksi custom-osien, design-tuotteiden ja koriste-esineiden valmistuksen lähes mistä materiaalista tahansa. Tuotteet valmistetaan aina asiakkaan tilauksesta, joko valmiista CAD-kuvasta, paperipiirustuksesta tai pelkästä ideasta, joka mallinnetaan käytössä olevilla ohjelmilla. (Lapin vesileikkaus, hakupäivä 20.2.2013)

LaVe on muodostettu kolmen yrityksen voimin, jotka toimivat samoissa tiloissa. Palveluiden tuottaminen on jaettu eri osastoihin. Asennus- ja kunnostusosasto valmistaa teollisuuden teräsrakenteita ja komponentteja, kuten kaiteita, tasoja ja koneikkoja. Tiivistys- ja pintakäsittelyosasto tekee tiivistykset sekä hiekka- ja raepuhallukset. Vesileikkausosasto tekee levyleikkaukset sekä suunnittelee uusia tuotteita. Yritys työllistää pääsääntöisesti yhden työntekijän, joka hoitaa vesileikkauksen ja siihen liittyvät huoltotoimet. (Lapin vesileikkaus, hakupäivä 20.2.2013)

LaVe:n konekantaan kuuluu vesileikkuri, CNC-jyrsin, KUKA-nivelvarsirobotti, työkalujyrsin, metallivannesaha ja hitsauslaitteet. (Lapin vesileikkaus, hakupäivä 20.2.2013)

3 KUNNOSSAPITO

Kunnossapito on käsitteenä hyvin laaja ja monitahoinen vaikuttaen monilla yhteiskunnan eri aloilla. Tuotantoteollisuudessa kunnossapidolla tarkoitetaan tuotantolaitoksen ja sen laitteiston pitämistä toimintakuntoisena, jotta kyetään ylläpitämään tuotantokyky ja varmistamaan yrityksen kilpailukyky nyt ja tulevaisuudessa. Kunnossapito määritellään standardeissa. Eurooppalainen SFS-EN 13306-standardi määrittelee sen seuraavasti : (Järviö 2007, 15; Mikkonen 2009, 25-26)

”Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon”. (Mikkonen 2009, 26)

3.1 Kunnossapito yleisesti

Aikaisemmin kunnossapito käsitettiin lähinnä vikojen paikallistamisena ja niiden korjaamisena. Nykyään se on enemmän tuotantokyvyn ylläpitämistä ja pyrkimistä vikaantumattomaan toimintaan. Kunnossapito nähdään yhtenä tuotannontekijänä, jonka keskeisimpiä tavoitteita ovat hyvä käyttövarmuus ja korkea tuotannon kokonaistehokkuus. (Järviö 2007, 40; Mikkonen 2009, 26)

Tavaroiden ja palveluiden tuottamiseen yritys tarvitsee koneita ja kalustoa tekemään haluttua tehtävää. Kaikki nämä laitteet ovat yrityksen käyttöomaisuutta, josta on pidettävä huoli. Käyttöomaisuuden käytön tehokkuus ja tehokas kunnossapito ovat ensisijaisen tärkeitä yrityksen kannattavuuden ja kilpailukyvyn ylläpitämisen kannalta. Käyttöomaisuus on mitoitettava oikein ja sen käytön tulisi olla optimaalista ja hallittua. Tarkoituksena on, että koneita pystytään käyttämään mahdollisimman tehokkaasti ja toiminta on luotettavaa. Luotettavuus on tärkeä osa valmistusprosessia ja se tulee säätää yritykselle sopivaksi. Se, että kuinka paljon siihen panostetaan riippuu markkinoista.

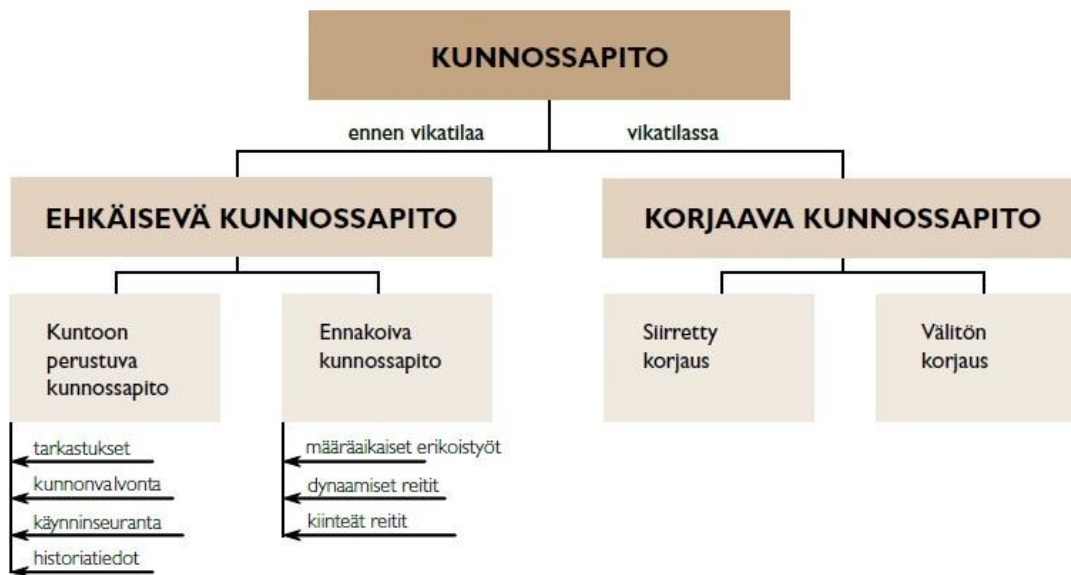
Kunnossapito vaikuttaa osaltaan koneen toiminnalliseen tehokkuuteen ja tätä kautta prosessin tehokkuuteen ja investoinnin tuottokykyyn. (Järviö 2007, 12-14)

Teknologian ja koneiden kehittymisen myötä myös kunnossapidon menetelmät ovat muuttuneet. Kunnossapidon suorittamisesta on siirrytty kunnonvalvontaan perustuvaan toimintaan, joka on pääosin käyttöhenkilöstön vastuulla. Kunnonvalvonta on tuotu ohjaamoihin. Anturit ilmoittavat laitteen poikkeavan toiminnan, jonka perusteella voidaan aloittaa vian paikantaminen ja korjaustyöt. Tietokoneteknologian ja konetekniikan yhdistäminen on kehittänyt paljon kunnossapidon toiminnan laatua ja vikaantumisen ennakointia, mutta se on tuonut myös uusia haasteita. Tämän seurauksena myös laitteiden toimintoja ohjaavien ohjelmien kunnossapito on otettava huomioon. (Järviö 2007, 20)

Kunnossapidon kustannukset ovat korkeat. Yrityksen kustannuksista se on kolmanneksi suurin pääoma- ja raaka-ainekustannusten jälkeen. Tämän vuoksi onkin tärkeää, että kunnossapito ja sen kustannukset saadaan hallintaan. Kunnossapito sisältää välittömiä ja välillisiä kustannuksia. Välittömillä kustannuksilla tarkoitetaan kuluja, jotka aiheutuvat kunnossapitotoimien tekemisestä. Esimerkkeinä ovat työkustannukset, hankintakustannukset, materiaalit ja varaosat. Välillisiä kustannuksia synnyttävät esimerkiksi hylky (huono laatu), epäsuhtaiset varastot, ylimitoitettut koneet, hallitsematon resurssien käyttö ja ylityökustannukset. Tämän tyyllisiä kuluja on hankala arvioida etukäteen, joka tekeekin kunnossapidosta yrityksen suurimman kontrolloimattoman kustannuserän. (Järviö 2007, 22, 135)

3.2 Kunnossapitolajit

SFS-EN 13306 ja PSK 7501 standardien määrittelemät jaottelut poikkeavat hieman toisistaan, mutta ne rakentuvat vikaantumisen ja korjaamisen ympärille. Perinteinen kunnossapito voidaan jakaa lähteestä riippuen neljään tai viiteen päälajiin. Kuvassa 1 on esitetty kunnossapitolajit SFS-EN 13306:n mukaan. (Järviö 2007, 47-48)



Kuva 1. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306 standardin mukaan (mukauttanut Jorma Järviö). (Promaint, hakupäivä 25.2.2013)

3.2.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan vikojen tunnistamista ja niiden korjaamista, jolla kone palautetaan takaisin käyttökuntoon. Vikaantuminen voi estää koko koneen toiminnan tai se voi olla myös lievästi oireileva haitta, joka ei varsinaisesti vaikuta tuotantoon. Korjaava kunnossapito on joko suunnittelematonta tai suunniteltua toimintaa. Kun laite rikkoutuu yllättäen ja vaatii välittömän korjaustoimenpiteen, puhutaan häiriönkorjauksesta. Kun kohteessa on havaittu vika, joka ei vaadi välitöntä korjausta ja se siirretään, tällöin puhutaan suunnitellusta kunnostuksesta. Vian korjaamista on joskus mahdollista siirtää väliaikaisella korjauksella, jolla pyritään siihen, että tuotannon katkos jäisi mahdollisimman lyhyeksi. Väliaikaiseen korjaukseen päädytään usein tiukan aikataulun tai varaosien puutteen vuoksi. Tarkoituksena on varmistaa kohteen toiminta seuraavaan huoltoseisakkiin, jossa kone palautetaan alkuperäiseen toimintakuntoon. (Järviö 2007, 49; Ansaharju 2009, 307)

Korjaustöitä edeltävät vian syntyminen, tunnistaminen, paikallistaminen ja määrittäminen. Koneenkäyttäjä havaitsee korjauksen tarpeen usein kunnonvalvonnan tekemien

vikailmoitusten perusteella tai fyysisesti tarkkailemalla koneen käyttäytymisestä. Vian ilmenemismuotoja ovat esimerkiksi koneen käynnin pysähtyminen, heikkeneminen tai nopeutuminen. Myös erilaiset vuodot, kuumenemiset ja ylimääräiset äänet ovat oireita, jotka voivat johtaa myöhemmin laitteen pahempaan vikaantumiseen ja rikkoutumiseen. Vikaantuminen on usein monen ongelman lopputulos ja vain harvoin sille löydetään vain yhtä syytä. Tavallisimpia vikojen syntymekanismeja ovat korroosio, materiaalin väsyminen, osien kuluminen, puutteellinen voitelu, koneen ylikuormittaminen tai käyttäjän inhimillinen virhe. (Järviö 2007, 49; Ansaharju 2009, 307-308)

3.2.2 Huolto

Käsitteinä huolto ja ehkäisevä kunnossapito ovat lähellä toisiaan. Huollon tarkoitus on ennaltaehkäistä vikojen ja vaurioiden syntyminen, sekä pyrkiä pitämään laitteen toimintakyky mahdollisimman hyvänä, jotta sillä on edellytykset suoriutua vaadituista tehtävistä. Ennakkohuolto jaksetaan etukäteen usein käyttöajan tai käyttömäärän mukaan. Jaksetetut huoltotoimenpiteet suoritetaan kohteen tilasta riippumatta, esimerkiksi päivittäin, viikoittain tai kerran kuukaudessa. Systemaattisuus on jaksetettujen huoltojen perusta ja niiden toteuttaminen on ensisijaisen tärkeää laitteiden toiminnan kannalta. (Järviö 2007, 50; Ansaharju 2009, 307)

Tavallisesti pienemmät huoltotehtävät, kuten säätö- , voitelu- ja puhdistustyöt suorittaa koneen käyttöhenkilöstö, kun taas isommat toimenpiteet, kuten kuluvien osien vaihtaminen ja toimintakyvyn palauttaminen kuuluvat varsinaisen kunnossapito-osaston tehtäviin. Yrityksen kunnossapitostrategiasta riippuen koneenkäyttäjien vastuu koneenkäynnistä voi olla korostunut. (Järviö 2007, 50; Ansaharju 2009, 307)

3.2.3 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevän kunnossapidon tehtävänä on estää vikojen syntyminen ja pitää koneen toimintaolosuhteet jatkuvasti hyvänä, jotta sen suorituskyky ei heikkene. Toimenpiteisiin kuuluu tarkastukset, kunnonvalvonta, testaus, huolto ja kaikki muut

sellaiset asiat, jotka tehdään ennen kuin vikoja alkaa ilmetä. Ehkäisevä kunnossapito on useimmiten säännöllistä ja se jaksotetaan etukäteen, mutta se voi olla myös jatkuvaa tai se voidaan suorittaa vaadittaessa. Jaksotetut huollot tehdään suunnitellusti esimerkiksi kerran viikossa, kerran kuukaudessa tai vaikka käyttötuntien mukaan. Jaksotusajat määritetään tarkastuksista ja kunnonvalvonnasta saatujen tulosten perusteella. Ne voidaan määrittää myös käyttäjien kokemusten perusteella, kuinka kauan kone normaalisti kestää. (Järviö 2007, 50; Ansaharju 2009, 307)

Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluu myös ennustava kunnossapito, jonka tarkoituksena on selvittää koneen ja sen osien kuntoa erilaisilla mittauksilla. Yleisiä mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi öljyanalyysit, värähtelyanalyysit ja infrapunakuvaus. (Järviö 2007, 73)

3.2.4 Parantava kunnossapito

Parantavan kunnossapidon keinoin pystytään muuttamaan koneen luotettavuutta, käytettävyyttä ja kunnossapidettävyyttä. Päättävöitteena on pitää koneen tekniikka nykyaikaisena, jotta se kykenee vastaamaan uudistuneisiin tuotannon vaatimuksiin. Sillä voidaan myös tehostaa olemassa olevaa tuotantoa. Parantavan kunnossapidon tarve voi syntyä asiakkaiden tarpeiden muuttumisesta tai siitä, että koneen tekniikka on vanhentunut, eikä sillä pystytä valmistamaan tuotteita kilpailukykyisesti. Tekniikan kehittyminen mahdollistaa erilaisten parannusten tekemisen, jotka helpottavat toimintaa ja parantavat esimerkiksi turvallisuutta. (Järviö 2007, 51; Ansaharju 2009, 308-309)

Kohteen muuttaminen on usein vanhan purkamista ja kasaamista uudella tavalla, mutta myös uuden rakentamista ja se voi sisältää suuriakin investointeja. Koneen toimintaa voidaan muuttaa esimerkiksi uudelleensuunnitteluilla ja erilaisilla korjauksilla, joilla koneen luotettavuutta voidaan parantaa. Koneen suorituskykyä voidaan muuttaa erilaisilla modernisaatioilla, jotta pystytään valmistamaan kilpailukykyisesti markkinoiden haluamia tuotteita. (Järviö 2007, 51; Ansaharju 2009, 308-309)

Esimerkki vesileikkaukseen liittyvästä modernisaatiosta voisi olla kolmiakselisen leikkausyksikön muuttaminen viisiakseliseksi, joka mahdollistaisi vielä vaikeampien muotojen leikkaamisen. Esimerkiksi erilaisten viisteiden leikkaaminen onnistuisi vaivattomasti.

3.3 Vikaantumisen selvittäminen

Yleisen käsityksen mukaan vikojen selvittäminen ei kuulu kunnossapidon piiriin, eikä sitä tunneta standardeissa. Selvitysten tärkeys ymmärretään, mutta niiden toteuttaminen ei ole systemaattista monissakaan yrityksissä. Se on selvää, että vikaantuminen vaikuttaa koko yrityksen toimintaan jollain tasolla. Kaikki yksittäiset viat eivät välttämättä näy suoraan, mutta ne voivat johtaa vakavempiin vikaantumisiin, jotka vaikuttavat esimerkiksi tuotannon laatuun ja tulokseen. (Järviö 2007, 51-53; Mikkonen 2009, 158-160)

Vikaantumisia lähdetään tarkastelemaan usein seurausten vakavuuden ja luonteen perusteella. Vakavuuden perusteella päätetään ryhdytäänkö ennakoiuihin menetelmiin vikaantumisen estämiseksi, vai annetaanko sen vain tapahtua ja suoritetaan korjaavat toimenpiteet. Vikaantuminen on yleensä pitkän tapahtumaketjun tulos. Kun tähän tapahtumaketjuun ja vian kehittymismekanismiin päästään käsiksi riittävän ajoissa, isommat vauriot voidaan estää. (Järviö 2007, 51-53; Mikkonen 2009, 158-160)

Vikojen selvittämisen lähtökohtana on, että pystytään havainnoimaan vika, jonka jälkeen selvitetään sen syy ja vaikutus. Saatujen tulosten perusteella on tarkoitus suorittaa toimenpiteitä, jotta vastaavanlainen vika ei uusiudu tai sen uusiutuessa korjaava kunnossapito pystytään kohdistamaan oikeaan paikkaan. Ennakoivien ja korjaavien toimenpiteiden tarve voidaan määritellä esimerkiksi vika- ja vaikutusanalyysillä. Tämä edellyttää, että vikaantumistavat ja vikojen seuraukset ovat tiedossa. (Järviö 2007, 51-53; Mikkonen 2009, 158-160)

VVA (vika- ja vaikutusanalyysi) on systemaattinen tapa auttaa tunnistamaan järjestelmän mahdollisia vikaantumistapoja sekä vikojen vaikutuksia, syitä ja seurauksia. Tavallisesti myös riskin suuruus ja vakavuus arvioidaan. Analyysi voidaan tehdä koko tuotantolinjalle, yhdelle laitteistolle tai yksittäiselle komponentille. Isojen tuotantolinjojen analysointia pidetään yleisesti liian raskaana toteuttaa ja se jääkin usein ajanpuutteen vuoksi keskeneräiseksi. Joissain tapauksissa järkevämpää on jakaa laitteisto pienempiin osiin ja keskittää analyysin tekeminen yksittäisille komponenteille. Analyysin avulla vikaantumisprosessiin päästään käsiksi, jonka jälkeen ennaltaehkäisevät toimenpiteet tai vian korjaus voidaan suorittaa. (Laine 2010, 127-129)

3.4 TPM

TPM – kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito on japanilaislähtöinen kunnossapidon toimintamalli. Viime vuosikymmeninä kunnossapitoon ja liikkeenjohtamiseen on kehitetty useita erilaisia työkaluja ja toimintamalleja, joiden avulla voidaan laatia yritykselle järkevä kunnossapito-ohjelma. Toimintamallit voidaan jakaa ryhmiin sen perusteella, minkä pohjalta strategiaa lähdetään luomaan. Merkittävimpiin nykyaikaisiin toimintakehyksiin TPM:n lisäksi kuuluu esimerkiksi RCM-menetelmä, jonka keskeinen kunnossapitosuunnitelman laatimiseen käytettävä mittari on luotettavuus. (Järviö 2007, 85)

TPM laajentaa kunnossapidon käsitettä entisestään, joka mielletään olevan osa niin tuotantoa kuin markkinointiakin. Metodien peruserä on, että koko organisaatio vastaa tuotantokapasiteetin ylläpitämisestä, kehittämisestä ja huoltamisesta henkilökohtaisella panostuksellaan. Esimerkiksi kunnossapidon kehittäminen toteutetaan käyttöhenkilöstön, tuotekehityksen, markkinoinnin ja suunnittelun yhteistyöllä. TPM:n mukaan kunnossapito on tuottavaa toimintaa ja se tavoittelee koko laitoksen korkeaa tuottavuutta ja käyntiastetta. Se pyrkii maksimoimaan yrityksen tuloksen, laitteiston ja tuotannon tehokkuuden sekä toimintavarmuuden. Kunnossapidon kustannukset on suhteutettu yrityksen kokonaismenoihin- ja tuloihin. (Heinonkoski 2004, 33-34; Laine 2010, 41-43)

TPM panostaa työympäristöön, työkaluihin ja työmenetelmiin. Työympäristön siisteys ja yleinen järjestys on olennainen osa toimintamallia. Tavoitteena on kouluttaa aktiivinen käyttöhenkilöstö, joka hallitsee koneet, havainnoi vikaantumisia ja osaa tarpeen vaatiessa suorittaa korjaavat kunnossapitotoimet. (Laine 2010, 81)

TPM:n vahvuuksia on hyvä sovellettavuus erityyppisille yrityksille, eikä sen toteuttamiseen ole yhtä ainoaa oikeaa tapaa. Siitä voidaan irrottaa toimintatapoja, joita yritys voi toteuttaa itsenäisesti, riippumatta siitä onko TPM muilta osin käytössä. Menetelmässä näkyy käytännön järki järjestäytyneessä muodossa ja hyvin toteutettuna se saa aikaan paljon tulosta sekä kasvattaa yrityksen kilpailukykyä. (Heinonkoski 2004, 33; Laine 2010, 41-43)

3.5 Käyttäjäkunnossapito (ODR)

Käyttäjäkunnossapito (Operator Driven Reliability) kuuluu TPM-kunnossapitostrategian osa-alueisiin ja on yksi sen peruspilareista. Käyttäjäkunnossapito tarkoittaa käyttöhenkilöstön aktiivista osallistumista koneen käynninseurantaan, kunnonvalvontaan ja huoltotoimenpiteisiin. Sen ideana on kehittää koneen käyttäjien kunnossapito-osaaminen sille tasolle, että he pystyvät mahdollisimman itsenäisesti ylläpitämään koneen käyttövarmuutta ja käytettävyyttä. (Mikkonen 2009, 83-84; Laine 2010, 221)

Käyttäjien suorittama kunnossapito nähdään tuottavuutta kehittävänä tekijänä. Kun vastuu koneen luotettavuuden ylläpitämisestä on osittain siirtynyt kunnossapito-osastolta operaattoreille, täytyy heidän ymmärtää paremmin koneen toimintaa ja osattava toimia erilaisissa vika- ja häiriötilanteissa. Käyttäjäkunnossapidon tehtäviin kuuluu työympäristön siisteyden ja järjestyksen vaaliminen, säännölliset tarkastukset ja rutiininomaiset huoltotoimenpiteet. (Mikkonen 2009, 83-84; Laine 2010, 221)

Käyttäjäkunnossapidon toteuttaminen lähtee liikkeelle perussuunnitelman tekemisestä,

jossa määritellään käytön ja varsinaisen kunnossapidon vastualueet, työtehtävät ja osaamistarpeet. Lisäksi käyttöhenkilöstön ja kunnossapitäjien kesken laaditaan yhteiset pelisäännöt yhteistyön tehostamiseksi. Käyttäjäkunnossapito on suhteellisen haastava johtaa ja toteuttaa. Menetelmään suhtaudutaan usein epäilevästi työntekijäpuolella. Käyttöhenkilöstö kokee töiden lisääntyvät ja kunnossapitäjät puolestaan kokevat, että työt vähenevät, joka johtaa irtisanomisiin. (Mikkonen 2009, 83-85; Laine 2010, 221-222)

Käytön suorittamaan kunnossapitoon siirtyminen on pitkä prosessi, joka toteutetaan askel kerrallaan. Useasti se aloitetaan helpoimmista tehtävistä, kuten pitämällä työympäristö siistinä ja järjestyksessä. Seuraavaksi koulutetaan tekemään pieniä tarkastuksia ja huoltotöitä. Käyttäjäkunnossapidon yksi tärkeä osa-alue on työmenetelmien visualisointi. On tärkeä luoda selkeät työ-, tarkastus-, puhdistus- ja huolto-ohjeet. Ohjeita voidaan visualisoida kuvilla ja niihin liitetyillä teksteillä, jotta oikein tekemisestä tehdään helppoa ja väärin tekemisestä vaikeaa. (Mikkonen 2009, 83-85; Laine 2010, 221-222, 78-79)

4 VESILEIKKAUS

Ensimmäinen teollisuuskäyttöön tarkoitettu vesileikkausjärjestelmä kehitettiin Yhdysvalloissa 1970-luvulla. Menetelmän käyttö monipuolistui 1980-luvulla, kun korkeapaineiseen veteen alettiin sekoittamaan abrasiivia, joka paransi leikkaustehoa huomattavasti. Abrasiivivesileikkaus mahdollisti nyt myös kovien materiaalien leikkaamisen. (Waterjet Cutting, hakupäivä 2.3.2013)

Vesileikkaus on mekaaninen työstöprosessi, jossa korkeapaineinen vesisuihku johdetaan työstettävään kappaleeseen, joka irrottaa siitä materiaalia ja huuhtelee irronneet hiukkaset työstökohteesta. Menetelmä perustuu veden kuluttavaan vaikutukseen, kun vesisuihkun paine, nopeus ja etäisyys kohteesta ovat oikeat. (Niemi 1995, 389)

Vesileikkauslaitteistossa veden paine saadaan aikaan hydraulisella paineenkohottajalla, jopa yli 6000 bariin asti. Paine tasataan paineakulla, josta vesi johdetaan suuttimeen, joka on halkaisijaltaan 0,1-1,2 millimetriä. Suuttimesta purkautuva vesisuihku ohjataan työstettävän kappaleen pintaan 2,0-5,0 mm:n etäisyydeltä lähes kolminkertaisella äänennopeudella. Suuttimen tarkoitus on pitää vesisuihku kapeana, vielä sen osuessa työstettävään kappaleeseen. (Niemi 1995, 389; Wardjet, hakupäivä 5.3.2013)

Vesileikkausta voidaan suorittaa pelkällä vedellä tai abrasiivin ja veden seoksella. Se, kumpaa menetelmää käytetään riippuu leikattavasta materiaalista ja sen rakenteesta. Puhdasvesileikkaus perustuu materiaalin leikkaantumiseen, kun veden paine ylittää materiaalin puristuslujuuden. Puhdasvesileikkaus soveltuu pehmeille tai ohuille materiaaleille, kuten kumit, muovit, vaneri ja elintarvikkeet. Abrasiivivesileikkaukseen siirrytään, kun työstetään kovia materiaaleja. Metallit, kivi, akryyli, komposiitti ja keraamiset materiaalit pystytään leikkaamaan mittatarkasti. (Wardjet, hakupäivä 5.3.2013)

4.1 Abrasiivinen vesileikkaus

Abrasiivivesileikkaus perustuu materiaalin kuluttamiseen sitä kovemmalla aineella. Veden sekaan syötetyt abrasiivipartikkelit osuvat materiaalin pintaan lähes yhtä suurella nopeudella vesisuihkun kanssa. Abrasiivivesileikkauksessa veden tehtävä on nostaa partikkeleiden nopeus korkeaksi, jotta saadaan aikaan hiekan hiova vaikutus. Puhdasvesileikkaukseen ja abrasiivivesileikkaukseen tarkoitetut suuttimet ovat rakenteeltaan erilaisia (Kuva 6). (Wardjet, hakupäivä 8.3.2013)

Abrasiivina käytetään tavallisesti granaatista tai kvartsista tehtyä hienoa hiekkaa. Hiekka annostellaan tarpeen mukaan. Pehmeämpiä materiaaleja voidaan leikata pienemmällä hiekkamäärällä, kun taas esimerkiksi teräksen leikkaus kannattaa toteuttaa suuremmalla hiekansyötöllä. Hiekansyötön määrä vaihtelee käytettävän paineen mukaan. Esimerkiksi 3600 barin paineella abrasiivin kulutus on 350g/min. (Wardjet, hakupäivä 8.3.2013)

4.2 Vesileikkauksen ominaisuuden ja toleranssit

Vesileikkaus soveltuu hyvin suurta tarkkuutta vaativaan leikkaukseen. Siinä yhdistyvät plasmaleikkauksen leikkausteho ja laserleikkauksen tarkkuus. CNC-ohjatulla menetelmällä pystytään leikkaamaan monimutkaisia muotoja lähes kaikkiin työstömateriaaleihin ilman termisiä, kemiallisia tai jännityksellisiä muutoksia. Leikkauksessa ei synny haitallisia savukaasuja eikä liemmin pölyä veden sitoessa osan siitä itseensä.

Vesileikkaus on parhaimmillaan sellaisten materiaalien leikkaamisessa, joiden jatkokäsittelyt halutaan minimoida tai poistaa kokonaan. Esimerkiksi hitsattavat kappaleet voidaan liittää leikkauksen jälkeen toisiinsa ilman minkäänlaista koneistusta tai pintakäsittelyä. Leikkaustarkkuuden, hyvän pinnanlaadun ja pienen materiaalihukan vuoksi menetelmä soveltuu hyvin paksujen alumiini- ja jalometalliosien leikkaamiseen. Menetelmällä voidaan leikata sellaisia materiaaleja, mihin perinteisillä

leikkausmenetelmillä ei pystytä. Tällaisia ovat lujat kuitu-, kerros-, kotelo- ja kennorakenteet, jalopuut, hiottu kivi, alumiini ja lasi. Leikkausura on tyypillisesti 0,1-1,5 mm, joka tekee siitä kustannustehokkaan menetelmän erikoismetallien leikkaamiseen. (Wardjet, hakupäivä 10.3.2013)

Vesileikkauksen kustannustehokkuus perustuu vähäiseen materiaalihukkaan ja säästämiseen jatkotyöstössä, mutta se ei aina ole edullisin vaihtoehto. Esimerkiksi metallien laserleikkaus on suhteessa halvempi ratkaisu, jos muodot ja paksuusalue ovat sille optimaaliset eikä lopputuote vaadi jälkikäsittelyä. Pehmeämmät materiaalit, kuten kumi ja ohut muovi voidaan leikata nopeasti pelkällä vedellä, mutta kun siirrytään kovempiin materiaaleihin ja abrasiivileikkaukseen, leikkausnopeus laskee moninkertaisesti ja hinta kasvaa. (Wardjet, hakupäivä 10.3.2013)

Vesileikkauksella saavutetaan jopa 0,05-0,15 mm:n toleranssi ohuilla teräsmateriaaleilla. Näin tarkoilla leikkauksilla hinta kohoaa suhteettoman korkeaksi, minkä vuoksi on järkevää laskea toleranssia tarpeen mukaan. Tyypillinen tarkkuus vesisuihkulla leikatessa on 0,1-0,2 mm ja abrasiivileikkauksessa +/-0,2 mm. Ohuita materiaaleja on mahdollista pinota päällekkäin tuottavuuden lisäämiseksi. Leikkausnopeus vaikuttaa suoraan pinnanlaatuun ja leikkauspinnan kartiomaisuuteen. Mitä suurempi nopeus, sitä karkeampi pinta muodostuu ja enemmän kartiomaisuutta esiintyy. Kartiomaisuutta muodostuu, kun suihkun liike-energia vähenee ja sen muoto hajoaa. Hitaampi leikkaus merkitsee parempaa pinnanlaatua, mutta se vie enemmän aikaa ja maksaa enemmän. (Wardjet, hakupäivä 10.3.2013)

Tyypillisiä ainevahvuuksia leikattaville materiaaleille :

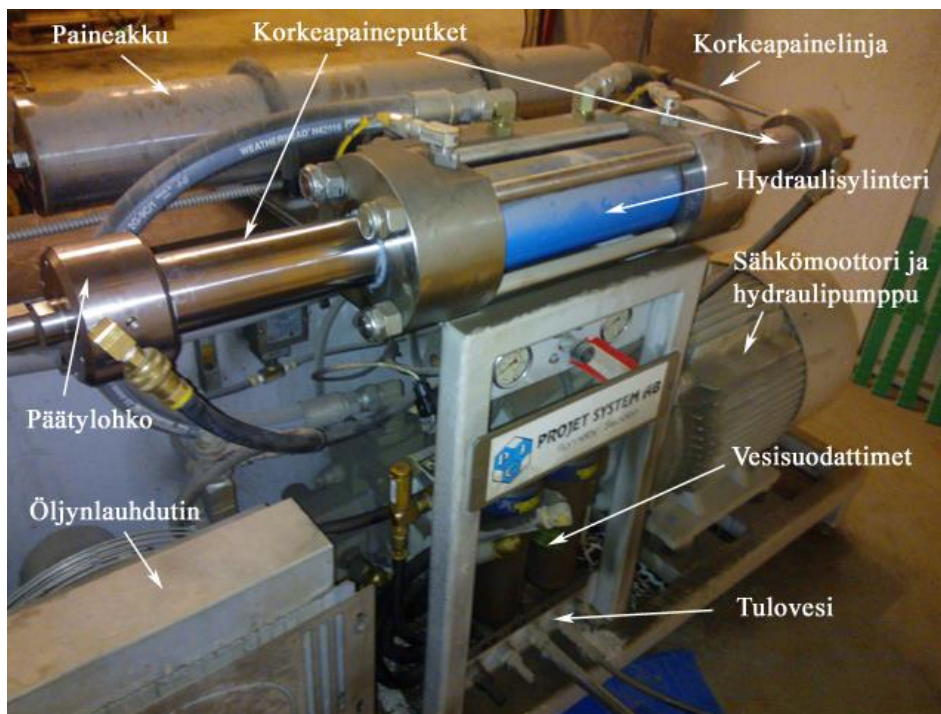
- ruostumaton teräs ja alumiini 100 mm.
- lasi ja marmori 50 mm.
- keraamiset materiaalit ja komposiitit 100 mm.
- muovi, kumi, paperi ja puu 100 mm.
- eristemateriaalit 200 mm.

4.3 Vesileikkauslaitteisto

Vesileikkausjärjestelmä koostuu paineyksiköstä, johon kuuluu sähkömoottori, hydraulipumppu, paineenkohottaja ja paineakku. Toinen laitekokonaisuus on leikkausyksikkö, johon kuuluu leikkausallas ja XY-leikkauspöytä. Leikkauspöytään kuuluvat poikittaisrunko, kelkka ja pystyliikeyksikkö. Muita tärkeitä komponentteja ovat korkeapaineputkisto, leikkauspää ja suuttimet. Abrasiivivesileikkauksessa tarvitaan hiekan varastointiin ja syöttöön tarkoitetut hiekkasiilo sekä abrasiiviannostelija. CNC-ohjausjärjestelmä koostuu ohjauspulpetista, käyttöliittymästä ja CAD/CAM-ohjelmistosta. (Aliko Oy 2008, ohjekirja)

4.3.1 Paineyksikkö

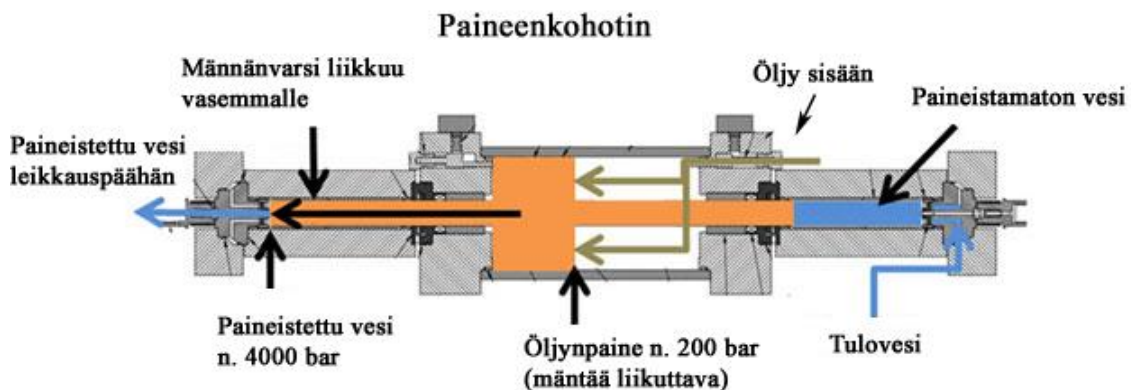
Paineyksikön tehtävänä on luoda järjestelmän korkea vedenpaine ja kuljettaa vesi leikkauspäähän (Kuva 2). Laitteen pääkomponentit ovat sähkömoottorin käyttämä hydraulipumppu, paineenkohottaja ja paineakku. Muita siihen kuuluvia komponentteja ovat korkeapaineputkisto, suuntaventtiili, öljynlauhdutin ja vesisuodattimet.



Kuva 2. Paineyksikkö Projet System E60

Sähkömoottorin käyttämä hydraulipumppu muodostaa öljynpaineen ja tilavuusvirran, joka siirretään paineenkohottajalle. Pumppujen tehot ovat tavallisesti 20-120 kW:n luokkaa. Pumpun teho vaikuttaa veden tuotantomäärään ja paineeseen, mutta ei välttämättä kerro suoraan järjestelmästä saatavan veden lopullista leikkauspainetta. Pumpun valintaan vaikuttaa paineenkohottajan vaatima voimantarve, jotta se voi toimia täydellä kapasiteetilla. (Wardjet, hakupäivä 15.3.2013)

Paineenkohottaja käsittää hydraulisylinterin, korkeapainesylinteriputket ja takaiskuventtiilit sekä päätylohkot. Hydraulipumpun pumppaama öljy johdetaan vuorotellen sähköohjatun suuntaventtiilin kautta kaksitoimisen sylinterin männän eripuolille. Suuntaventtiili vaihtaa hydrauliohjain virtaussuunnan sen mukaan, missä vaiheessa männän isku on menossa. Hydraulisylinterissä sijaitsee anturit, joiden perusteella öljyn virtaussuunta muutetaan. Öljynpaine saa aikaan männän edestakaisen liikkeen. Hydraulisylinteri on varustettu kaksipuolisella männänvarrella, jolla voimat ja nopeudet saadaan yhtä suuriksi molempiin liikesuuntiin. Männän molemmiin puolin olevat männänvarret ulottuvat hydraulisylinterin päädyissä oleville korkeapaineputkille, joissa vesi paineistetaan. Männänvarren tiivisteet pitävät huolen siitä, ettei öljy pääse vesipuolelle ja päinvastoin. Varret ovat normaalisti valmistettu ruostumattomasta teräksestä tai keraamisesta materiaalista, joka kestää paremmin korkeita lämpötiloja ja suuria paineita. Kuvassa 3 on esitetty paineenkohottajan toimintaperiaate. (Wardjet, hakupäivä 15.3.2013)



Kuva 3. Paineenkohottajan toiminta. (Wardjet, hakupäivä 15.3.2013)

Korkeapainesylinteriputket ovat valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja suunniteltu kestämaan erittäin korkeita paineita ja niiden vaihteluja. Ympyränmuotoiset päätylohkot ovat kiinnitetty korkeapaineputkien päihin. Lohkon keskellä on koneistettu reikä takaiskuventtiiliä ja vesiliitintä varten, jonka läpi vesi saadaan korkeapaineputkistoon. Lohkosta löytyy myös aukko vesiverkostosta otettavalle tulovedelle. Myös tulovesi kulkee takaiskuventtiilin kautta, joka sallii virtaussuunnan vain korkeapainesylinteriputkeen. (Wardjet, hakupäivä 16.3.2013)

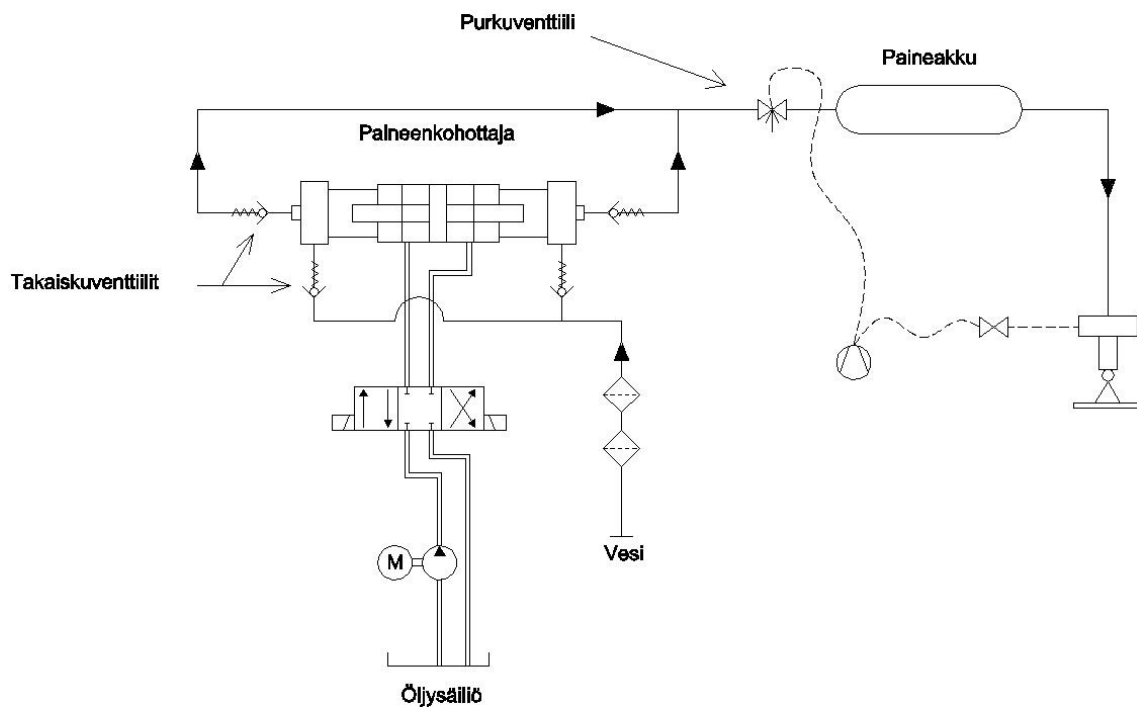
Paineakun tehtävänä on tasata paineenvaihtelut, jotka ovat muodostuneet paineenkohottajassa. Kun paine on tasattu, vesi ohjataan korkeapaineputkistoa pitkin leikkauspäähän. Ennen paineakkua veden paineenvaihtelut voivat olla jopa 1000 baria. Epästabiili vedenpaine muuttaa vesisuihkun nopeutta leikkauspäässä, jolloin leikkaaminen vaikeutuu ja pinnanlaatu kärsii. (Wardjet, hakupäivä 16.3.2013)

Korkeapaineputkisto kuljettaa paineistetun veden paineenkohottajasta paineakun kautta leikkauspäähän. Vesileikkausjärjestelmän suunnittelussa on otettava huomioon putkiston pituus, mutkat ja muut virtausta heikentävän asiat. Paineyksikön etäisyys leikkauspäästä vaikuttaa heikentävästi paineeseen, mutta myös putkiston ja veden välinen kitka aiheuttaa painehävikkiä. (Wardjet, hakupäivä 16.3.2013)

Paineyksikkö sisältää kaksi suodatinta, joiden kautta vesi päästetään paineenkohottajaan. Vesi on tarpeen käsitellä pumpunvalmistajan ohjeiden mukaisesti, jotta se täyttää laatuvaatimukset. Vedestä pyritään poistamaan kiinteät partikkelit ja orgaaniset aineet. Myös veden lämpötilan ja pH-arvon tulee olla oikea. Huono vedenlaatu lyhentää korkeapainejärjestelmän komponenttien elinikää. Tarvittavan paineen tulovedelle määrittelee pumpun valmistaja. Joillekin järjestelmille riittää matala 2 barin tulopaine, kun taas toiset järjestelmät vaativat erillisen paineenkohotuspumpun, joka ylläpitää esimerkiksi 7 barin painetta. Paineyksikön toimintakaavio on esitetty kuvassa 4. (Wardjet, hakupäivä 16.3.2013)

Paineyksikön tekniset tiedot :

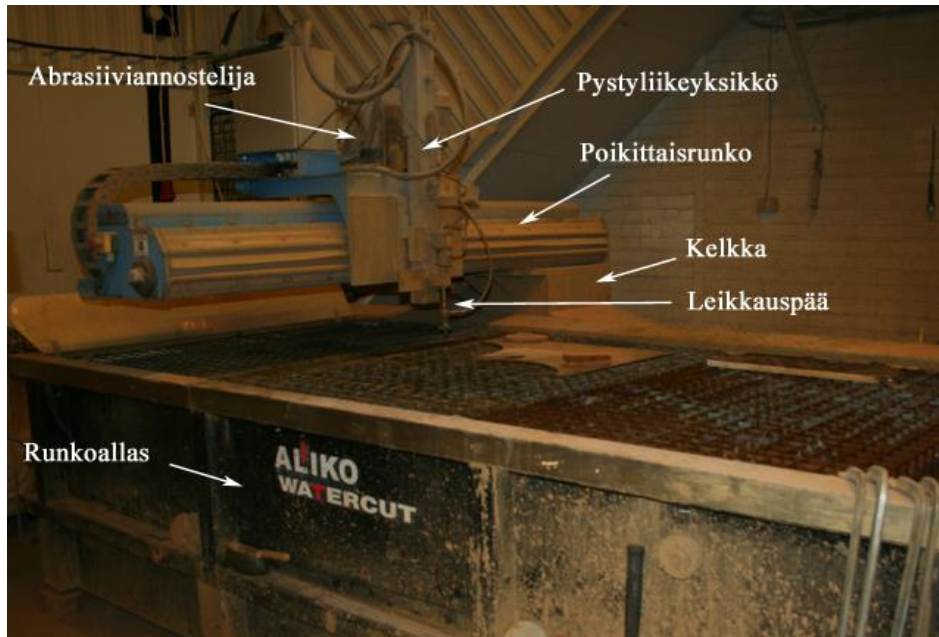
- valmistaja : Projet System Ab.
- vuosimalli : 2008, E60.
- vedenpaine (maks.) : 4000 Bar.
- käyttöpaine : 3700 Bar.
- veden virtaus : 3,5 l/min.
- iskutaajuus : 27 iskua/min.



Kuva 4. Paineyksikön toimintakaavio.

4.3.2 Leikkausyksikkö

Leikkausyksikön pääkomponentit ovat XY-leikkauspöytä, leikkauspää, pystyliikeyksikkö, poikittaisrunko, kelkka ja runkoallas (Kuva 5). Lisäksi pöytään on asennettu abrasiiviannostelija, joka on esitelty abrasiivisiilon yhteydessä. (Aliko Oy 2008, ohjekirja)



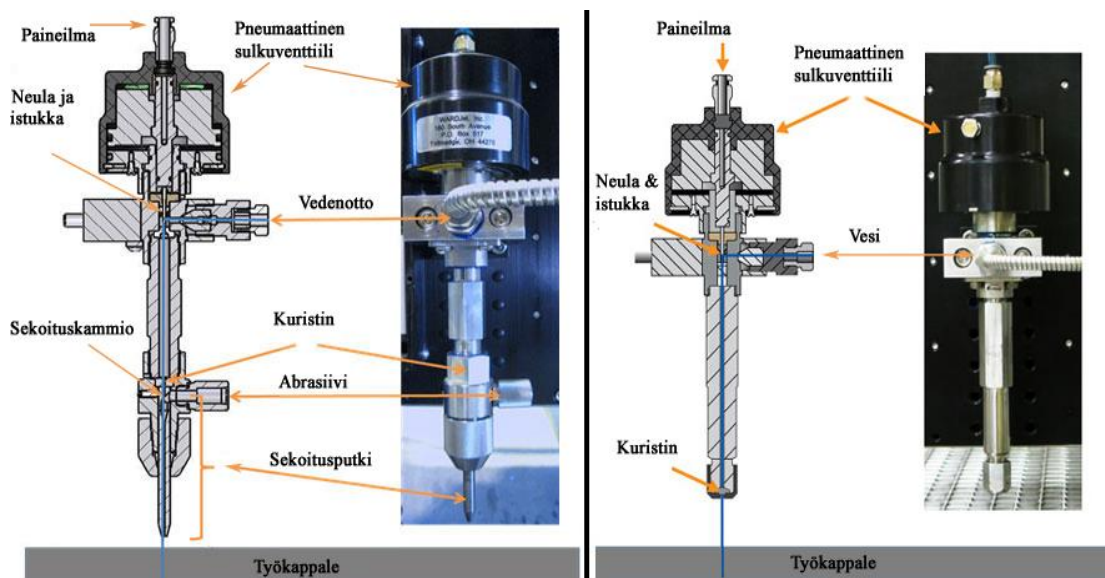
Kuva 5. Leikkausyksikkö.

Runkoallas toimii leikkuuveden ja abrasiivin kerääjänä. Leikkaus tapahtuu runkoaltaan päällä olevalla rutilällä, johon leikattava kappale kiinnitetään puristimilla tai painoilla. Altaan vedenpintaa voidaan nostaa tai laskea tarpeen mukaan. Tietyin väliajoin allas tyhjenetään sen pohjalle kertyneestä hiekasta ja epäpuhtauksista. Altaan läheisyydessä on tyypillisesti lattiakaivo ylivuotovedelle.

Leikkauskoneen liikeratoja ohjaavat servomoottorit. Z-liikkeestä vastaa liikkumaltaan 200 mm:n pystyliikeyksikkö, johon leikkauspää on asennettuna. Pystyliikeyksikköön on sijoitettu induktiivinen rajakytkin, joka estää leikkauspään ja leikattavan kappaleen yhteentörmäykset leikkauksen aikana. (Aliko Oy 2008, ohjekirja)

Leikkauspäässä on vedenottoaukko, josta paineistettu vesi ohjataan suuttimelle. Laitteen yläosassa on pneumaattinen sulkuventtiili, jolla kontrolloidaan veden virtausta pumpun ja leikkauspään välillä. Kun paineilma päästetään neulaventtiilille, se nostaa neulan istukastaan ja sallii korkeapaineveden virtauksen suuttimelle. Paineyksiköllä on magneettiohjattu purkuventtiili, joka toimii yhdessä leikkauspään venttiilin kanssa. Purkuventtiili toimii varoventtiilinä, josta voidaan vapauttaa järjestelmän paineet.

Abrasiivivesileikkauksessa paineistettu vesi johdetaan vedenottoaukosta leikkauspäälle. Vesi pakotetaan kuristimen läpi, joka aiheuttaa venturi-ilmiön, jossa veden paine alenee ja nopeus kasvaa. Vesisuihkun nopeus on tässä vaiheessa 3600 km/h. 0,1-1,2 halkaisijaltaan olevat kuristimet ovat valmistettu erittäin kestävästä materiaaleista, kuten timantista, safiirista tai rubiinista. Vesi imee syötetyn abrasiivihiekan virtaukseen ja ne yhdistyvät aukon alapuolella olevassa sekoituskammiossa. Abrasiivipartikkeleiden nopeus kiihtyy vesivirran avulla suhteellisen korkeaksi, joka aiheuttaa tehokkaan eroosiomaisen kulumisen leikattavan kappaleen pinnassa. Abrasiivivesisuihku purkautuu ulos suuttimesta kovalla voimalla ja nopeudella. Abrasiivivesileikkauksessa veden tehtävänä ei ole leikata, vaan antaa partikkeleille tarvittava nopeus ja voima. (Wardjet, hakupäivä 20.3.2013)



Kuva 6. Abrasiivi- ja puhdasvesisuuttimet. (Wardjet, hakupäivä 20.3.2013)

4.3.3 Hiekkasiilo ja abrasiiviannostelija

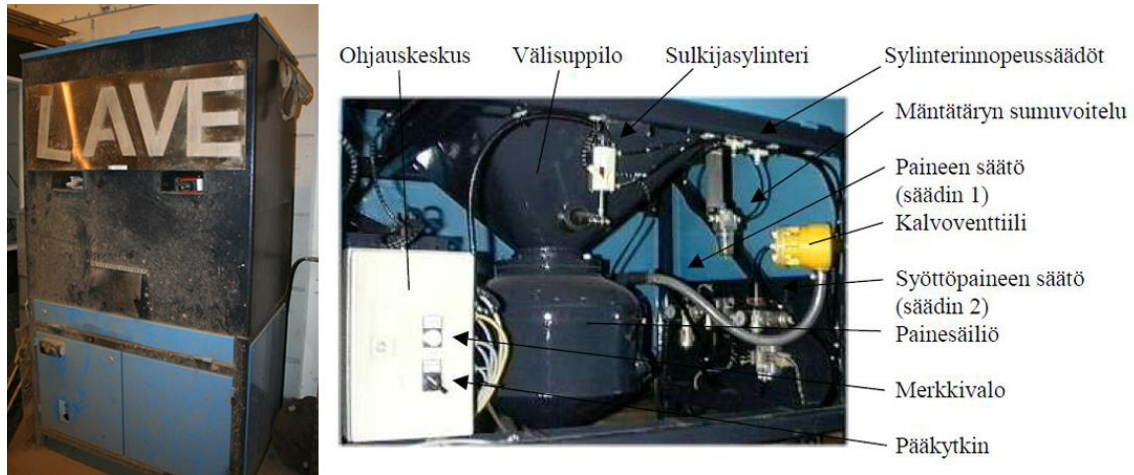
Hiekkasiilo toimii vesileikkauksessa käytetyn abrasiivihiekan varastointilaitteena, josta hiekka syötetään leikkauspöydän annostelulaitteelle. Laite vaatii toimiakseen puhdasta ja kuivaa paineilmaa, jonka käyttöpainne on enimmillään 0,6 MPa. Hiekansyötön ja vesileikkauksen ongelmattoman toiminnan takaamiseksi abrasiivihiekan juoksevuus ja puhtaus täytyy pysyä hyvänä. Hiekkasiilon pneumatiikka on esitetty kuvassa 7. (Aliko Oy 2008, ohjekirja)

Hiekkasiilo koostuu kahdesta pääosasta. Syötettävä hiekka kaadetaan ylempään siiloosaan, josta sitä annostellaan alaosan syöttöjärjestelmään manuaalisen sulkimen läpi. Kapasitiivisilla antureilla valvotaan hiekan pinnantasoa. Alaosaan kuuluu ohjauskeskus, seulontalaitteisto, tarvittava pneumatiikka sekä paineastia, josta hiekka syötetään paineen avulla leikkauspöydässä olevalle annostelulaitteelle. Seulontalaitteisto koostuu seulasta, välisuppilosta sekä paineilmalla toimivasta mäntätäryttimestä. Tärytin on varustettu sumuvoitelulaitteella sekä kuristusäänenvaimentimella, jolla pyörimisnopeutta voidaan säätää. Pneumatiikka on varustettu vedenerotuksella, jolla kondensoitunut vesi poistetaan järjestelmästä. Suodattimet poistavat paineilmasta öljyn, veden ja pölyn sekä putkistosta irtoavat epäpuhtaudet. Pneumatiikkajärjestelmässä on kaksi paineensäädintä. Toisella kontrolloidaan järjestelmän ja ohjauspuolen paineita. Toisella säädetään hiekan syötön painetta leikkauspöydän abrasiiviannostelijalle. (Aliko Oy 2008, ohjekirja)

Laitteen ohjauskeskus on sijoitettu siilon alaosaan. Ohjauskeskuksessa on laitteen pääkytkin sekä ohjauskytkin. Pääkytkimellä on oma merkkivalo, joka ilmaisee laitteen tilan. Ohjauskeskuksessa on myös merkkivalolla varustettu hälytysten kuittausnappi ja hälytyssummeri. Merkkivalo ilmoittaa, kun abrasiivia pitää lisätä yläsäiliöön. (Aliko Oy 2008, ohjekirja)

Yläsäiliöön kaadettu abrasiivihiekka lasketaan alaosassa olevalle seulan lautaselle. Seulaa käyttää pneumaattinen mäntätärytin. Hiekka seulotaan verkon läpi välisuppiloon, jonka pohjassa on paineilmalla ohjattu sulkukartio. Sulkukartiota avaamalla abrasiivihiekka pudotetaan sen alapuolella olevaan painesäiliöön. Painesäiliöön

säädetään paine, joka ohjaa hiekan putkeen, josta se kulkeutuu leikkauspöydän abrasiivianostelijalle. (Aliko Oy 2008, ohjekirja)



Kuva 7. Hiekkasiilo ja pneumatiikka. (Aliko Oy 2008, ohjekirja)

Abrasiiviannostelija on asennettu XY-pöydän leikkauspään yläpuolella, josta hiekka syötetään leikkausveden sekaan. Hiekansyöttö määritetään leikattavan materiaalin mukaan ennen leikkausta, mutta sitä voidaan säätää jälkikäteen CNC-ohjausjärjestelmästä.

Hiekan virtausta valvotaan annostelijaan sijoitetulla anturilla, joka havaitsee jos syöttöputkessa ilmenee tukkeumaa. Hiekan määrää puolestaan valvotaan annostelijan anturilla, joka on kytketty leikkauspäähän. Mikäli hiekan pinta laskee alle rajan tai syöttöputkeen tulee tukkeuma leikkauksen ollessa käynnissä, annetaan hälytys.

4.3.4 CNC-ohjausjärjestelmä

Vesileikkaus on CNC-ohjattua, jossa kolmiakselisen leikkauskoneen x- , y- ja z-liikkeet toteutetaan servomootoreilla, joka mahdollistaa vaikeiden geometrioiden leikkaamisen. Ohjausjärjestelmään kuuluu ohjauspulpetti, kaksi PC-tietokonetta, CAD/CAM-ohjelmisto, ALIX-käyttöliittymäohjelmisto sekä tietokantaohjelma. (Aliko Oy 2008, ohjekirja)

Lapin Vesileikkauksen käyttämä ALIX-käyttöliittymä toimii WINDOWS-käyttöjärjestelmän alaisuudessa ja vain ALIKO XY-pöydän kanssa. Käyttöliittymää ajetaan ohjauspulpetin PC:ssä, jossa se toimii G-koodin lukijana. Sillä voidaan myös muuttaa koneistusarvoja, leikkauspaineita ja abrasiivinsyöttöä jälkikäteen. (Salmi, 19.4.2013, haastattelu)

Kuvien piirtämiseen ja lukemiseen käytetään IGEMS CAD/CAM-ohjelmistoa. Ohjelma on varustettu postprosessorilla, joka muodostaa G-koodin piirretystä kappaleesta. IGEMS:llä piirretystä CAD-mallista saatu G-koodi luetaan ALIX:lla, jonka perusteella kappale leikataan. IGEMS:stä asetetaan myös leikkausarvot, abrasiivinsyöttö ja leikkauspaineet. (Salmi, 19.4.2013, haastattelu)

Käytössä oleva tietokantaohjelma on suunniteltu juuri kyseistä prosessia varten. Kanta sisältää osittain automaattisesti päivittyvän leikkauspäiväkirjan, johon suoritettujen leikkausten tiedot jäävät muistiin. Materiaalihallintaan voidaan syöttää saapuvan materiaalin tarkat tiedot. Tärkeimpiin toimintoihin kuuluvat myös varaosalistat, rahti- ja lähetelistat sekä työtehtävä- ja tuntiseuranta. (Salmi, 19.4.2013, haastattelu)

Ohjauspulpettiin kuuluu tarvittavat hallintalaitteet manuaaliajtoa varten (Kuva 8).



Kuva 8. Ohjauspulpetti.

5 KÄYTTÄJÄKUNNOSSAPITO-OHJEET

Kunnossapito-ohjeet on laadittu yleisimmille vesileikkausprosessissa esiintyville huolloille. Tarkoituksena on, että ohjeiden perusteella koneenkäyttäjä pystyy helposti suoriutumaan toimenpiteistä. Ohjeistus on dokumentoitu tarkemmin tekstimuodossa ja kuvalliset ohjeet löytyvät opinnäytetyön liitteistä 1-5. Ohjeet liitetään Lapin Vesileikkauksen omaan ”työohjeet”- dokumentaatioon.

5.1 Korkeapainesylinteriputken tiivisteen vaihto

Tiiviste ympäröi männänvarren ja pitää paineen sylinteriputken sisällä. Paineyksikkö on säädetty siten, että se pyrkii pitämään ennaltamäärätyn paineen vakiona, joten tiivisteen kuluminen ei välttämättä aiheuta näkyvää painehävikkiä järjestelmässä tai vesisuihkun laadun heikkenemistä. Fyysisesti tiivisteen vaihdon tarve ilmenee iskutaajuuden kasvamisena, jonka kuulee, kun pumppu on käynnissä. Jos tiiviste menee kokonaan rikki, tällöin sylinteriputken päätylohkon juorurei’istä alkaa vuotamaan vettä.

Yleisohjeet

1. Vältä naarmuttamasta minkään korkeapainekomponentin pintaa.
2. Ennen komponenttien takaisinasennusta varmista, että kaikki kiertet on puhdistettu ja rasvattu.

Esivalmistelut

1. Sammuta paineyksikkö ja saata se virrattomaksi.
2. Sulje vesilinja.

Purkaminen

1. Löysää korkeapaineputken liitoslohkojen yhteitä ja irroita korkeapainelinja vastaventtiilin sovittimesta.

2. Löysää korkeapainesylinteriputki kierteiltään käsin. Jos putki on jumissa, käytä apuna liinaa ja jatkovartta. Irroita koko sylinterikokoonpano yhtenäisenä.
3. Pyöritä sylinteri irti ja liu'uta se ulos vaakasuorassa, männänvarren suuntaisesti. (Huomioi! Tue sylinteriä alhaalta, ettei se makaa männänvarren päällä).
4. Aseta sylinteri ruuvipenkkiin, käytä pehmustetta ja älä kiristä liian tiukalle. Irroita päätylohko käsin kiertämällä. Jos lohko on jumissa, käytä apuna suodattimien irrottamiseen tarkoitettua työkalua. Tiiviste tulee esille, kun päätylohko on kierretty irti. (Huomioi! Jos tiivistepaketti vaihdetaan hydraulisylinterin puolelle, 4. kohtaa ei suoriteta).

Tiivisteiden vaihtaminen

1. Kampea vanha tiivistepaketti ulos putken reiästä, käytä apuna vaikka pientä kiintoavainta. (Huomioi! Varo naarmuttamasta putken sisäpintaa).
2. Puhdista sylinteriputken sisäpinta puhtaalla kankaalla, siitä kohtaa mihin uusi tiivistepaketti asennetaan.
3. Rasvaa kevyesti o-rengas ja runko ja aseta ne järjestyksessä : o-rengas – runko - lukkorengas. Naputtele lukkorengas tasaisesti paikalleen (terävä puoli alaspäin).

Takaisinasennus

1. Puhdista ja rasvaa kaikki kiertet. Pyöritä päätylohko takaisin paikoilleen ja kiristä.
2. Asenna sylinterikokoonpano takaisin varovasti työntämällä sitä männänvartta pitkin kieteille asti. Pyöritä putki kierteille ja kiristä käsin. Napakka kiristys muttei liian kireälle. (Huomioi! Tue sylinteriputkea alhaalta samalla kun työnnät sitä paikoilleen).
3. Kytke korkeapainelinja ja vesilinjän liitin takaisin paikoilleen.

Viimeistely

1. Aukaise vesilinja.

2. Kytke paineyksikkö päälle.
3. Kokeile korkeapainepumpun toiminta ja tarkista ettei vuotokohtia ole isoillakaan paineilla.

5.2 Leikkauspään neulatiivisteen vaihto

Pneumaattisella sulkuventtiilillä on kaksi asentoa, auki tai kiinni. Kompressorin ollessa päällä paineilma ohjataan leikkauspään neulaventtiilille. Paineilma nostaa neulan istukastaan ja sallii korkeapaineveden virtauksen suuttimelle. Tiivisteen vaihdontarve huomataan, kun vesilohkon juorurei'istä alkaa vuotamaan vettä.

Esivalmistelut

1. Sammuta paineyksikkö.
2. Irroita paineilmaletku ja vesiputki leikkauspäästä.
3. Kierrä jousipakka irti käsin.

Purkaminen

1. Irroita suutinpää kiihdytysputkesta.
2. Irroita venttiilin runko-kiihdytysputki-kokoonpano.
3. Aseta runko ruuvipenkkiin, löysää mutteria ja irroita kiihdytysputki. (Huomioi! Putken irroittaminen löysää myös irtonaisen istukan).
4. Puhdista komponentit kankaalla ja paineilmalla.

Tiivisteen vaihtaminen

1. Irroita rungosta venttiilin neula, jossa tiiviste on paikallaan.
2. Rasvaa uuden tiivisteen ympärystät ja aseta se messinkipää neulapään puolelle.

Takaisinasennus

1. Puhdista ja rasvaa kiihdytysputken ja rungon kiertet.

2. Kiinnitä kiihdytysputki ruuvipenkkiin, aseta istukka paikoilleen ja pyörittele venttiilin runko kierteille ja kiristä. (Huomio! Varmista, että istukka pysyy paikallaan).
3. Asenna komponentit paikoilleen käänteisessä järjestyksessä. Puhdista ja rasvaa jousipakan kiertet.

Viimeistely

1. Käynnistä paineyksikkö.
2. Testaa vesisuihku.

5.3 Safiirin vaihtaminen

Suuttimen yksi tärkeimmistä komponenteista on vesisuihkun ja abrasiivin nopeuden aikaansaava kuristin, jonka vakiintunut nimi on safiiri. Safiiri on kuluva osa, joka vaihdetaan silloin, kun se menee rikki. Safiirin elinikää on vaikea arvioida tarkasti, koska ne tuntuvat olevan yksilöitä. Keskimäärin sen elinikä on kymmenen tuntia, mutta se voi vaihdella 5 minuutista 20 tuntiin. Esimerkiksi jatkuva suuttimen purkaminen nostaa ennenaikaisen rikkoontumisen riskiä huomattavasti. Toinen kestävyyyteen vaikuttava tekijä on materiaalin puhkaisujen määrä. Safiirin rikkoontuminen huomataan fyysisesti, kun vesisuihkun muoto leviää ja leikkausteho katoaa. Rikkinainen safiiri voi vaikuttaa myös korkeapainepumpun toimintaan, joka havaitaan iskun nopeutumisena.

Esivalmistelut

1. Sammuta paineyksikkö.

Purkaminen/safiirin vaihtaminen

1. Irroita abrasiiviletku suuttimesta.
2. Kierrä suutin irti kiihdytysputkesta käsin.
3. Irroita sekoituskammion runko. (Safiiri tulee esille).

4. Aseta uusi safiiri paikoilleen.

Takaisinasennus

1. Aseta sekoituskammion runko paikoilleen, pyöritä suutin kiihdytysputkeen ja kiristä käsin.
2. Laita abrasiiviletku paikoilleen.

Lopputoimet

1. Käynnistä paineysikkö.
2. Kokeile suuttimen toiminta.

5.4 Suuttimen hiekkatukoksen korjaus

Hiekkatukos voi syntyä esimerkiksi, jos suutin on liian lähellä leikattavaa kappaletta. Tällaisessa tilanteessa vesi saattaa nousta abrasiiviletkua pitkin kohti syöttöyksikköä, joka kastelee hiekan ja estää sen kulkemisen. Jos hiekkaa ei saada veden sekaan, leikkausteho katoaa ja suihku ei mene materiaalista läpi.

Esivalmistelut

1. Sammuta paineysikkö.

Purkaminen

1. Irroita abrasiiviletku suuttimesta.
2. Kierrä suutin irti kiihdytysputkesta käsin.
3. Irroita sekoituskammion runko ja safiiri.

Toimenpiteet

1. Tarkasta silmämääräisesti ettei tukoksia ole. Puhdista ja kuivaa suutin paineilmalla tarvittaessa.

Takaisinasennus

1. Asenna takaisin käänteisessä järjestyksessä.

Lopputoimet

1. Käynnistä paineysikkö.
2. Testaa suuttimet toiminta.

5.5 Purkuventtiilin neulatiivisteen vaihto

Paineyksikössä ennen paineakkua on purkuventtiili, josta järjestelmän paineet voidaan vapauttaa. Venttiili on sähköohjattu ja se toimii yhdessä leikkauspään venttiilin kanssa sallien korkeapaineveden siirtymisen leikkauspäähän.

Esivalmistelut

1. Sammuta paineysikkö.

Purkaminen/tiivisteen vaihtaminen

1. Irroita paineilmaletku magneettiventtiilistä.
2. Irroita solenoidi ruuvimeisselillä.
3. Kierrä jousipakka irti käsin, jolloin venttiilin neula tulee esille.
4. Irroita neula ja vaihda neulatiiviste. (Huomioi! Varmista, että asennat sen oikeinpäin).

Takaisinasennus

1. Asenna takaisin käänteisessä järjestyksessä.

Viimeistely

1. Käynnistä paineysikkö ja testaa toiminta.

6 VIKA-ANALYYSI

Vika-analyysin tarkoituksena oli selvittää vikaantumisien syitä, kuinka ne pystytään havainnoimaan ja korjaamaan. Analyysin avulla viat pystytään paikantamaan nopeasti ja suunnittelemaan korjaava kunnossapito.

Analyysi on tehty Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, jolla saadaan hyvinkin havainnollinen ja helppolukuinen kaavio, jos se on hyvin suunniteltu ja toteutettu. Analyysi on laadittu vika- ja vaikutusanalyysimenetelmien pohjalta, mutta se on muokattu sopivaksi LaVe:n prosessiin. Esimerkiksi vikojen kriittisyyden arvioiminen on jätetty pois. Kaikki viat ovat joko tuotannon pysäyttäviä tai sitä haittaavia, joihin täytyy puuttua heti, jotta toimintaa voidaan jatkaa.

Vika-analyysi lähtee kohteen toiminnosta ja vikaantumistavasta, joka päättyy suositeltaviin toimenpiteisiin. Tässä välissä on käyty läpi vian ilmenemismuotoja paikallisesti ja järjestelmässä. Taulukossa on myös esitetty mahdolliset vikaantumiseen johtaneet syyt. Taulukot löytyvät opinnäytetyön liitteistä 6, 7 ja 8.

6.1 Paineenkohottajan ylikuormitus

Paineenkohottajan ylikuormitus johtaa yleensä pumpun sammumisen heti käynnistämisen jälkeen tai kesken leikkauksen. Korkeapainepumpun ohjausjärjestelmään tulee ilmoitus ”overspeed”, joka voidaan kuitata napista, mutta se ei ratkaise itse ongelmaa.

Todennäköisin syy ylikuormitukseen on safiirin rikkoutuminen. Kuristimen kuluminen aiheuttaa samanlaista oireilua, mitä korkeapainesylinteriputkien tiivisteiden kuluminen. Pumppu pyrkii tuottamaan säädetyn vakiopaineen järjestelmään nopeuttamalla iskua, joka johtaa pumpun ylikuormittumiseen ja sammumiseen.

Jos vesisuihku leviää, eikä leikkauspäässä ole muita näkyviä ongelmia, niin tällöin vika on luultavasti korkeapainepumpun tiivisteissä. Paikallisesti ongelma havaitaan kuuntelemalla pumpun käyntiä. Iskuluku on normaalisti 27 iskua/minuutissa.

6.2 Korkeapainepumpun etäohjausongelma

Joissain tapauksissa pumppu ei käynnisty ohjausyksiköltä käynnistettäessä. Tämä voi yksinkertaisesti johtua siitä, että etäohjausta ei ole laitettu päälle.

Toinen syy voi olla, että korkeapainepumpulle ei tule ilmaa. Tämä voidaan havaita kuuntelemalla pumpulta löytyvän purkuventtiilin toimintaa. Kun pumppu käynnistetään, purkuventtiilin kelan pitäisi vaihtaa asentoa, eli sulkea venttiili (naksahdus). Jos näin ei tapahdu niin tiedetään, että paineilmaa ei saada järjestelmään.

6.3 Leikkauksen keskeytyminen

Leikkaukone pysähtyy kesken leikkauksen ilman näkyvää ongelmaa. Todennäköisin syy leikkauksen keskeytymiseen on leikkuurajojen ulkopuolelle ajautuminen. Tämä johtuu kappaleen leikkuuratojen määrittämisessä tapahtuneesta inhimillisestä virheestä, jossa nollakohta on asetettu siten, että ajettava ohjelma ylittää koneen sallitut rajat.

Tämä voidaan estää sillä, että ennen leikkausta tarkistetaan käsiajolla leikattavan ohjelman äärimuodot.

6.4 Ohjausohjelman ongelmat

Käyttöliittymällä aukaistaan CAD/CAM-ohjelmalla tehty G-koodi, jonka perusteella kappale leikataan. Joskus eteen voi tulla tilanne, jossa ohjausohjelmaa ei saada auki, eikä leikkausta voida aloittaa. Usein NC-ohjelman tiedostoa ei saada auki, koska

tiedostopolku on muuttunut. Tämä voi johtua siitä, että verkkolevyyn ei saada yhteyttä tai edellinen ohjelma on ladattu muistitikulta, joka ei ole paikallaan. Verkkolevyyn liittyvät yhteysongelmat voivat johtua sähkökatkoksista tai verkon reitittimen ongelmista.

Ongelma voidaan ratkaista tyhjentämällä C-juuren alix-kansiossa oleva .cfg-tiedosto. Jos ohjauspulpetin käsiohjaus ei toimi, ohjausjärjestelmä voidaan käyttää pois päältä.

6.5 Hiekansyötön ongelmat

Hiekansyöttöön liittyviä ongelmia on suhteellisen paljon. Tietyt viat ilmoittavat itsestään järjestelmän kautta, kun taas toiset huomataan paikallisesti leikkausta seuraamalla. Abrasiivisiilon ohjauskeskuksen häiriövalo syttyy silloin, kun hiekansyöttöä ei ole kytketty päälle, annosteluyksikössä ei ole hiekkaa tai hiekka on loppunut siilosta.

Muut ongelmat esimerkiksi erityyppiset tukokset, jotka estävät hiekan kulkemisen havaitaan seuraamalla vesisuihkun leikkaavuutta. Näissä tilanteissa häiriöilmoituksia ei tule, mutta leikkaus keskeytetään manuaalisesti. Tällaisia ovat tukokset hiekansyöttöletkussa ja kiihdytysputkessa.

Hiekansyöttöletkun tukos johtuu usein siitä, että leikattaessa suutin on ollut liian lähellä materiaalin pintaa ja vesi on päässyt kastelemaan hiekan. Myös leikkuupään o-renkaan vuotaminen on yksi syy tukkeutumisiin. Tiivisteen vuotaminen havaitaan toistuvina tukkeutumisina ja usein abrasiivin annostelulaitteen rullan alle alkaa kertyä hiekkaa.

7 POHDINTA

Työssä saatiin laadittua yksityiskohtaiset käyttäjäkunnossapito-ohjeet vesileikkauksessa vastaantuleville toimille. Vika-analyysin tekemisen ideana oli, että vika voidaan rajata tietyn komponentin alueelle, joka nopeuttaa kunnossapitotoimiin ryhtymistä.

Ohjeet on laadittu pääsääntöisesti seuraamalla kunnossapitotoimia sekä keskustelemalla koneenkäyttäjien kanssa, jotta ohjeistuksesta saadaan toimiva juuri kyseistä leikkausprosessia varten. Kun kunnossapito-ohjeiden laatija on ulkopuolinen, on käytön kanssa kommunikointi ensisijaisen tärkeää. Työssä on pyritty käyttämään LaVe:lla vakiintuneita termejä eri komponenttien nimeämisessä, jotta ainakin yrityksen sisällä puhuttaisiin samaa kieltä. Vesileikkauksessa käytettävien komponenttien nimet eivät ole kovin vakiintuneet, vaan useasti varaosien toimittajan ja ostajan välinen kommunikointi perustuu osan tai sen tehtävän kuvailemiseen. Kuvalliset ohjeet havainnollistavat toimenpiteitä ja helpottavat kirjoitettujen ohjeiden tulkitsemista. Ohjeet voivat toimia esimerkiksi koulutusmateriaalina uusille työntekijöille, joilla ei ole kunnossapito- tai koneenasennustaustaa. Ne voivat helpottaa töiden suorittamista ja tuovat varmuutta tekemiseen.

Vika-analyysin tekeminen oli toissijainen tehtävä tässä opinnäytetyössä. Sen tarkoitus ei ollut tuoda esiin kaikkia mahdollisia laitteiden vikaantumisia, vaan käsitellä yleisimmät ongelmakohdat, joita prosessissa esiintyy. Jokaiselle vikaantumiselle oli tarkoitus löytää ratkaisu sen korjaamiseen ja panostaa havainnointiin. Vaikka Excel on melko helppo käyttää ja yleisesti käytetty ohjelma, ei se välttämättä ole parhaimmillaan vika-analyysin tekemisessä. Laajamittaisempaan vika-analyysin tekemiseen en voi ohjelmaa suositella. Tekstin sovittaminen soluihin ja pohjan suunnitteleminen vie turhan paljon aikaa ja se saattaa kadottaa mielenkiinnon ja keskittymisen itse asiaan. Oikeiden työkalujen löytäminen mahdollisti kuitenkin mielestäni kohtuullisen selkeän taulukon, jota on jopa helppo muokata jälkeenpäin.

Teoriaosio on aloitettu kunnossapidon perusteista, jonka tarkoitus on auttaa ymmärtämään kunnossapidon merkitys ja sen pyrkimykset tuotantoteollisuudessa.

Perusteet käyttäjäkunnossapito-ohjeiden laatimiseen on esitetty tuottavan kunnossapitostrategian näkökulmasta, joka auttaa ymmärtämään miksi ohjeita ylipäättänsä on tärkeä dokumentoida. Vesileikkausprosessi on käyty läpi tarpeeksi yksityiskohtaisesti, joka auttaa hahmottamaan ohjeissa tapahtuvaa toimintaa. Prosessin opetteleminen ja siitä kirjoittaminen oli myös minulle itselle ensisijaisen tärkeä ohjeita ja vika-analyysiä laatiessa.

Kunnossapito-ohjeiden laatiminen ei sinällään ole liian vaativaa, kun tuntee prosessin ja ymmärtää kunnossapitoasioita. Haastetta työn tekemiseen toi vesileikkaukseen liittyvän teorian tiedon hankkiminen. Ongelmana oli, että vesileikkauksesta ei löydy kovin paljoa dokumentoitua tietoa suomenkielellä. Tietenkin prosessia seuraamalla ja leikkaajien tietotaitoa hyödyntämällä oppii paljon. Vesileikkauksen teoria on suurilta osin kirjoitettu englanninkielisestä lähteestä, mutta koneenkäyttäjät ovat myös antaneet paljon tietoa menetelmästä ja sen toimintaan liittyvistä asioista.

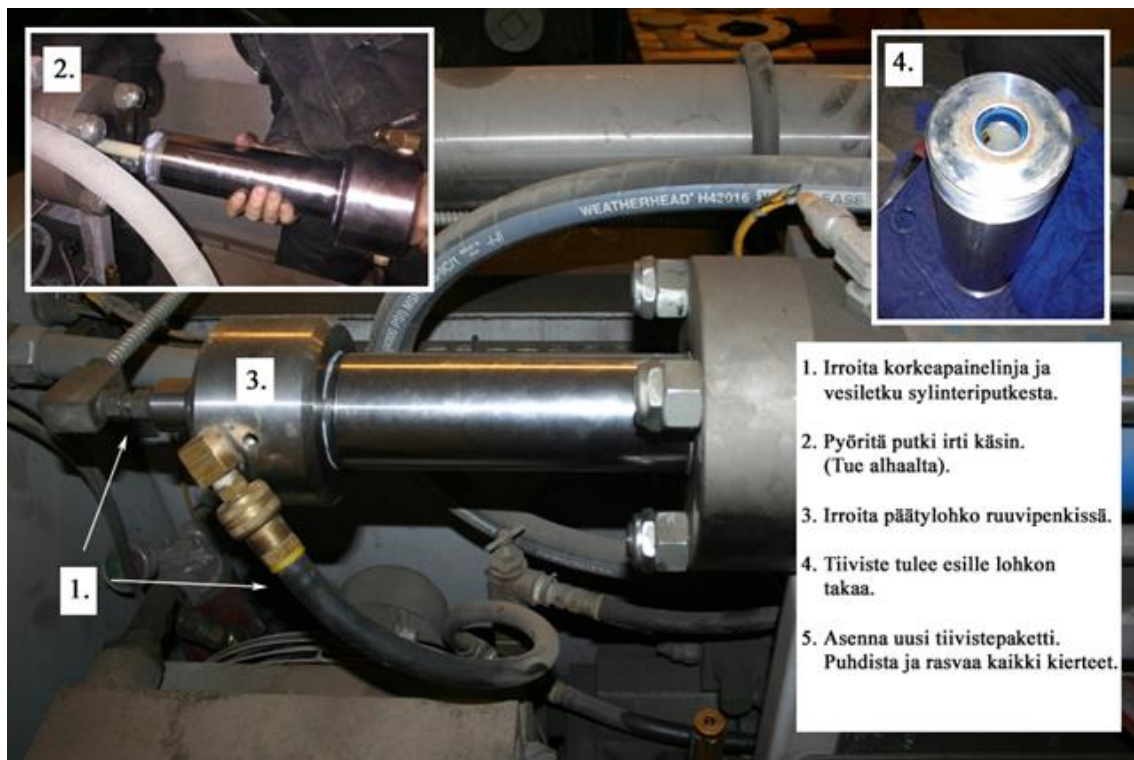
LÄHTEET

- Aliko Oy 2008. Laitteiston ohjekirja. Pdf-tiedosto. Sähköpostilla 27.2.2013.
- Ansaharju, Tapani 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. Helsinki : WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Heinonkoski, Risto 2004. Koneautomaation kunnossapito. 2. uudistettu painos. Uusikaupunki : Opetushallitus.
- Järviö, Jorma & Piispa, Taina & Parantainen Timo & Åström, Thomas 2007. Kunnossapito. 4. uudistettu painos. Helsinki : KP-Media Oy.
- Laine, Hannu S. 2010. Tehokas kunnossapito. Helsinki : KP-Media Oy.
- Lapin vesileikkaus Oy, internet-sivut. Hakupäivä 20.2.2013.
< <http://www.lapinvesileikkaus.fi/>>
- Mikkonen, Henry 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki : KP-Media Oy.
- Niemi, Esko & E. Ihalainen & K. Aaltonen & M. Aromäki & P. Sihvonen 1995. Valmistustekniikka. 5. painos. Helsinki : Otatieto Oy.
- Promaint, internetsivu. Kunnossapitolajit-kuva. Hakupäivä 25.2.2013.
< www.promaint.net/downloader.asp?id=2996&type=1 >
- Salmi, Mikko, koneenkäyttäjä, Lapin Vesileikkaus Oy. Haastattelu 19.4.2013.
- Wardjet, internet-sivu. Vesileikkauksen teorian tietoja. Hakupäivä 20.3.2013.
<<http://www.wardjet.com/>>
- Waterjet Cutting, internet-sivut. Vesileikkauksen historia. Hakupäivä 2.3.2013.
< http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/machining/non_trad/waterjet/ >

LIITTEET

- Liite 1. Korkeapainesylinteriputken tiivisteen vaihto-ohje, valokuva.
- Liite 2. Leikkauspään neulatiivisten vaihto-ohje, valokuva.
- Liite 3. Safiirin vaihto-ohje, valokuva.
- Liite 4. Suuttimen hiekkatukoksen korjaus-ohje, valokuva.
- Liite 5. Purkuventtiilin neulatiivisten vaihto-ohje, valokuva.
- Liite 6. Korkeapainepumpun vika-analyysi.
- Liite 7. Abrasiivin syöttöön liittyvä vika-analyysi.
- Liite 8. Ohjausjärjestelmän vika-analyysi.

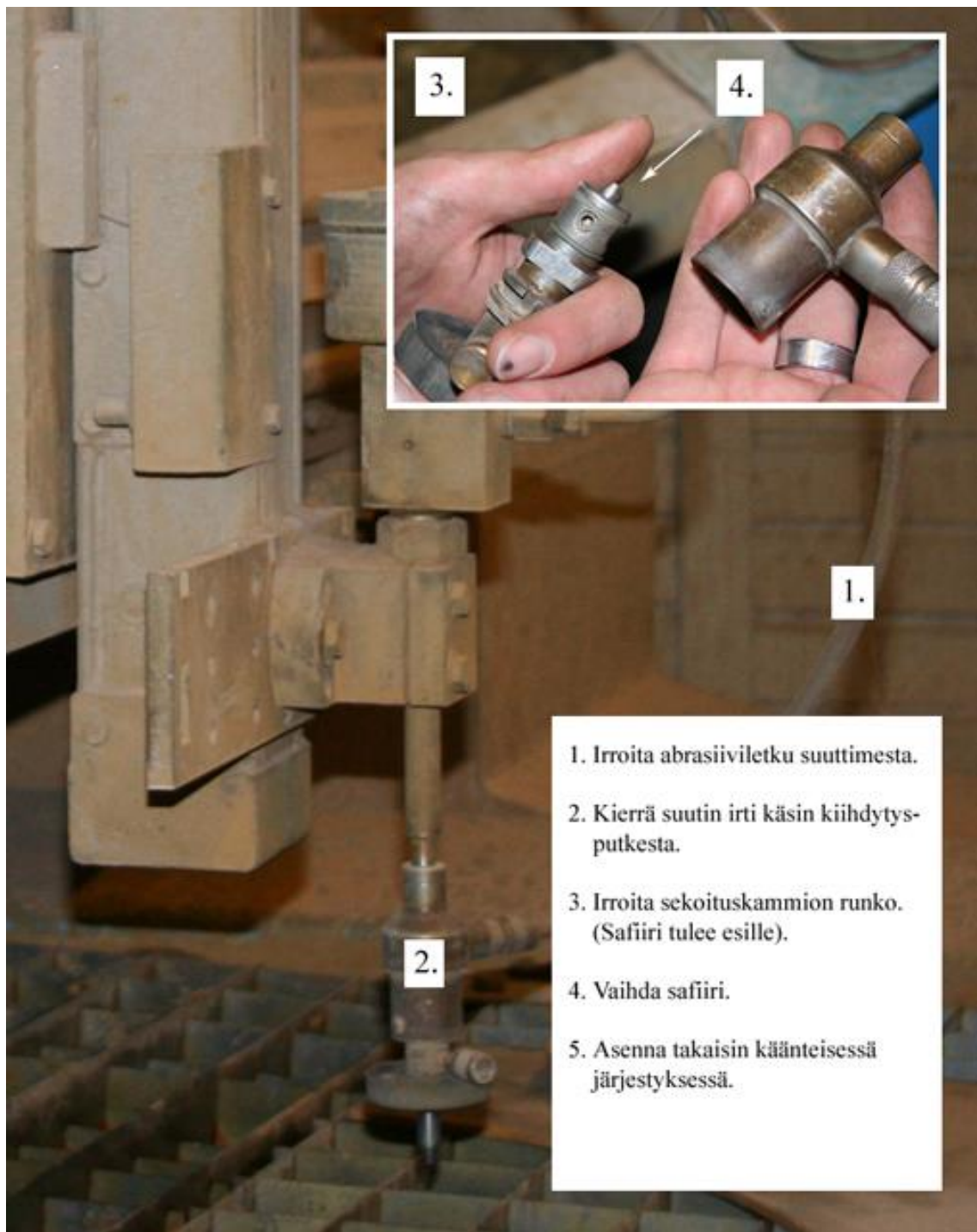
LIITE 1 Korkeapainesylinteriputken tiivisteen vaihto-ohje, valokuva.



LIITE 2 Leikkauspään neulatiivisteen vaihto-ohje, valokuva.



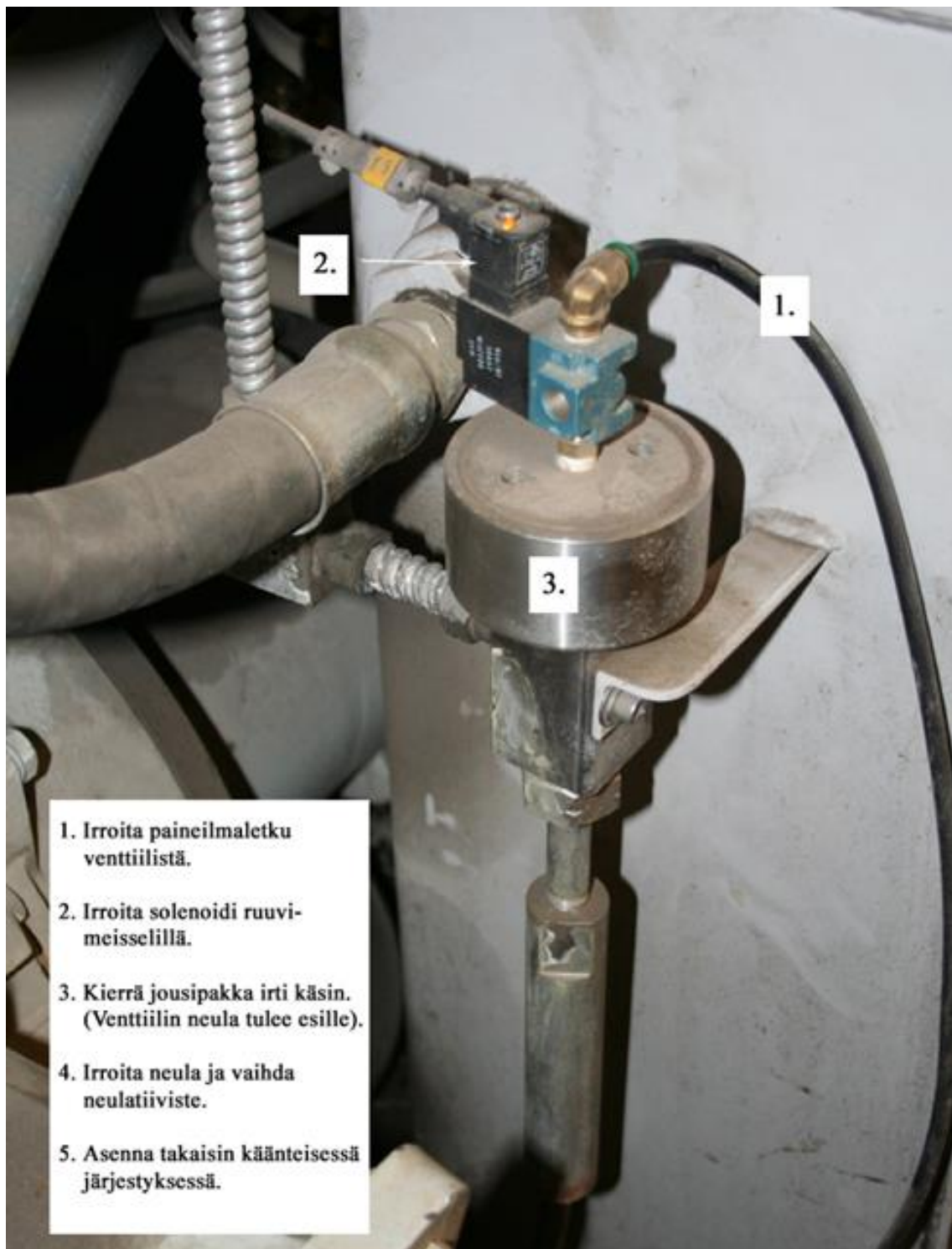
LIITE 3 Safiirin vaihto-ohje, valokuva.



LIITE 4 Suuttimen hiekkatukoksen korjaus-ohje, valokuva.



LIITE 5 Purkuventtiilin neulatiivisteen vaihto-ohje, valokuva.



LIITE 6 Korkeapainepumpun vika-analyysi.

Laitetoiminto	Vika	Vikaantumisen syy	Havaitseminen		Toimenpiteet
			Paikallisesti	Järjestelmässä	
Korkeapainepumppu. Tuottaa korkeapainaisen veden järjestelmään.	Korkeapainepumppu sammuu kesken leikkauksen tai käynnistyessä.	Safiirin rikkoutuminen.	Vesisuihkun muoto leviää ja pumpun isku nopeutuu.	Häiriöilmoitus. "Overspeed".	Vaihda safiiri.
		Korkeapainepumpun tiivisteen rikkoutuminen.	Juorureiästä alkaa vuotamaan vettä.	Häiriöilmoitus. "Overspeed".	Vaihda korkeapaineputken tiivistepaketti.
		Leikkauspään neulatiivisten rikkoutuminen.	Juorureiästä alkaa vuotamaan vettä.	Häiriöilmoitus. "Overspeed".	Vaihda neulatiiviste.

LIITE 7 Abrasiivin syöttöön liittyvä vika-analyysi.

Laite/toiminto	Vika	Vikaantumisen syy	Havaitseminen		Toimenpiteet
			Paikallisesti	Järjestelmässä	
Abrasiivisiilo. Hiekan varastointilaite.	Hiekan syöttö ei toimi.	Hiekan syöttö ei ole päällä.	Hiekka ei kulje.	Ohjauskeskuksen häiriövalo.	Kytke hiekansyöttö päälle ohjausyksiköstä.
		Annosteluyksikössä ei ole hiekkaa.	Hiekka ei kulje.	Ohjauskeskuksen häiriövalo.	Tarkista, että abrasiivisiilossa on hiekkaa.
		Hiekka on loppunut abrasiivisiilosta.	Hiekka ei kulje.	Ohjauskeskuksen häiriövalo.	Tarkista abrasiivisiilon hiekkatilanne, lisää tarvittaessa.
Abrasiivin annostelulaite.	Hiekansyöttö loppuu kesken leikkauksen.	Tukos hiekansyöttöletkussa.	Vesisuihku ei mene materiaalista läpi.	-	Keskeytä leikkaus ja irroita letku. Kuivaa letku paineilmalla tai vaihda uuteen.
		Tukos kiihdytysputkessa.	Vesisuihku ei mene materiaalista läpi.	-	Irroita kiihdytysputki ja tarkasta onko tukoksia. Kuivaa ja puhdista putki paineilmalla.
		Leikkuupään tiivisteen rikkoontuminen.	Tukkeutumiset toistuvia. Syöttölaitteen rullan alle kertynyt hiekkaa.	-	Vaihda tiiviste.

LIITE 8 Ohjausjärjestelmän vika-analyysi.

Laite/toiminto	Vika	Vikaantumisen syy	Havaitseminen		Toimenpiteet
			Paikallisesti	Järjestelmässä	
Ohjausjärjestelmä. G-koodin luominen, leikkuupään ajaminen.	Leikkauskone ylittää leikkuurajat.	Nollapiste asetettu siten, että ajettava ohjelma ylittää koneen sallitut rajat.	Leikkaus keskeytyy.	-	Tarkista käsiajolla leikattavan ohjelman äärimuodot ennen leikkausta.
	Ohjausohjelma ei aukea ohjausyksiköltä. / Tiedostopolku on muuttunut.	Verkkolevyyn ei saada yhteyttä.	Ohjausohjelma ei käynnisty.	-	Katso onko verkkolevy kaatunut. Kokeile pääseekö nettiin. Tyhjennä c-juuren alix-kansion cfg-tiedosto.
		Edellinen ohjelma ladattu muistitikulta, joka ei ole paikallaan.	Ohjausohjelma ei käynnisty.	-	Tyhjennä c-juuren alix-kansion cfg-tiedosto.